

高圧ガスパイプラインの施工技術

石垣 洋・田中 進

日鉄住金パイプライン & エンジニアリング(株)

1 はじめに

高圧ガスパイプラインは大容量の天然ガスを安定かつ安全に輸送できる手段である。社会的なニーズを背景に天然ガス輸送のための高圧ガスパイプラインの建設が積極的に展開されており、安全・信頼性の向上および効率化のための様々な開発が行われている。

本稿では、国内の高圧ガスパイプラインの最新の施工技術について紹介する。

2 パイプライン本管の設計

高圧ガスパイプラインは保安上の観点から地中埋設の形態をとることが一般的である。本項では高圧パイプライン本管の主な設計として、埋設を考慮した管材料、円周溶接継手、溶接部の検査、防食方法について説明する。

高圧ガスパイプラインに適用される法規にはガス事業法などがあり、その技術基準として「ガス工作物技術基準・同解釈例の解説」((一社)日本ガス協会(以下JGA)発行)などがある。基準の中ではJISを主体とし、海外も含めた規格が多数引用されている。パイプライン設計においては適用される法規、技術基準、規格をあらかじめ熟知しておく必要がある。

2.1 管材料の設計

国内の高圧ガスパイプラインに適用される本管材料仕様は、ほとんどが米国石油協会(American Petroleum Institute)のAPI 5L規格である。API規格は、長距離高圧ガスパイプラインに適合した規格であり、設計時に要求される鋼管材料の強度、溶接性、じん性などが考慮されている。

計画されたガス輸送量により、最大使用圧力と本管口径が決定される。標準管厚は、設計係数(内圧による周方向発生応力と材料の規格降伏強度との比)により決まる。国内での設計係数は0.3~0.4が主に採用されている。これらより最適な本管の規格グレード(強度)と標準管厚の組合せを決定する。

埋設深度が大きくなると、上載荷重(土圧、自動車荷重の和)によって発生する応力が増加し、標準管厚では許容応力度を超えることがあるので、別途検討する必要がある。

2.2 円周溶接継手の設計

高圧ガスパイプラインの現地円周溶接箇所は管材料の選定に合わせ、管と同等以上の強度や所定の機械的性質を持つよう設計する。

溶接部の機械的性質と品質の向上、時間短縮を図るため、溶接施工法の開発が進められており、詳細は3項で説明する。

2.3 溶接部の検査方法の選定

高圧ガスパイプラインでは現地円周溶接部の品質を確保するため、開先検査、非破壊検査、外観検査を行う。非破壊検査は放射線透過試験(RT)、超音波探傷試験(UT)を適用している。非破壊検査方法についての詳細は4項で説明する。

2.4 防食方法の選定

パイプラインの防食性能は、維持管理の上で極めて重要である。埋設管においては、ポリエチレン材料を管体に塗覆し電氣的に絶縁を行う方法、土中を通じて管路に電流を流し電気化学的に防食する方法を組合せている。

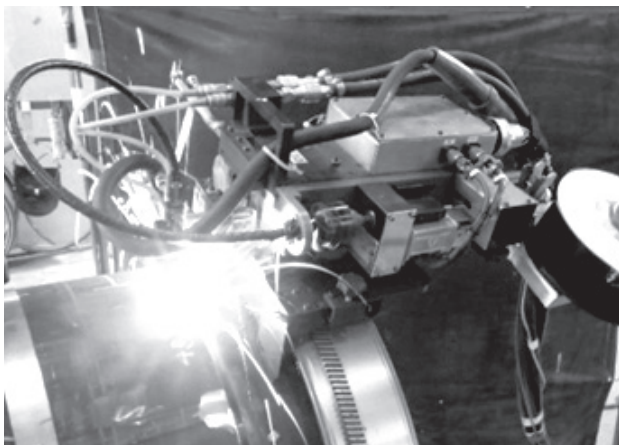


写真1 マグ自動溶接装置による溶接状況

電気防食方法は、流電陽極方式と外部電源方式がある。高圧ガスパイプラインでは延長が長く防食対象面積が大きいケースが多く、通常外部電源方式が用いられている。

3 溶接施工法

国内の高圧ガスパイプラインの現地円周溶接に使用されている溶接方法としては、被覆アーク溶接、初層ティグ溶接と被覆アーク溶接の組合せなどの手溶接と、マグ自動溶接がある。

国内の高圧ガスパイプラインでは、公有地である公道下への敷設が多く、狭い公道内の作業範囲の中で、決められた時間内に、掘削・埋戻しという土木作業と本管の溶接作業を実施する必要がある。施工進捗向上のために溶接の高速化が要求されており、従来からの手溶接に加え、自動溶接工法の開発が積極的に進められてきた。

マグ自動溶接では、溶接時間短縮のために溶接部の開先角度を小さくし、溶着金属量を少なくすることで溶接時間を短縮している。開先角度は、手溶接が 60° V開先を適用しているのに対して、マグ自動溶接では 40° V開先や 30° V開先が適用されており、本管口径600mmでは、手溶接と比べて $1/2 \sim 1/3$ のアークタイムでの溶接が可能となっている。

また、近年では、比較的長距離の高圧ガスパイプラインの施工には、シールド工法などの非開削工法が多く用いられるようになってきている。シールドなどのトンネル内配管においては、配管・溶接作業と土木作業が分離されるため、溶接時間（アークタイム）の長さで工事進捗が決定される場合が多く、アークタイムを短縮するためにマグ自動溶接の適用が進められてきた。前述の本管口径600mmのシールドトンネル内配管作業の場合、自動溶接工法の採用により手溶接に比べて工事進捗が大幅に向

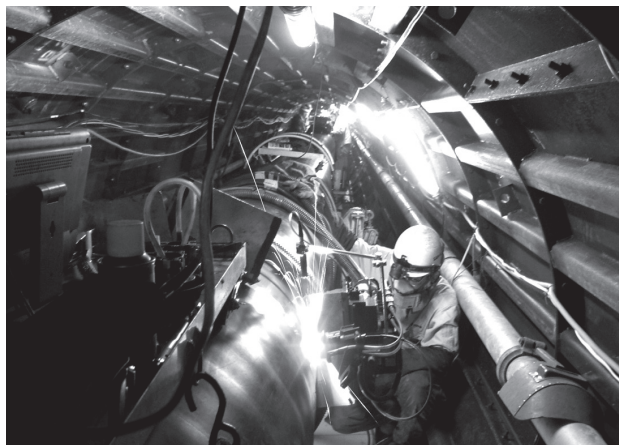


写真2 シールドトンネル内配管溶接状況

上している。

4 非破壊検査

溶接継手の信頼性の確保は極めて重要であり、その手段の1つとして非破壊検査によって溶接継手部の有害な溶接さずを排除している。高圧ガスパイプラインの現地円周溶接部の非破壊検査には、放射線透過試験、超音波探傷試験を適用している。検査方法や合格基準はJIS規格に従っている。溶接作業と同様に検査時間の短縮や検査員の負担軽減は作業環境や進捗の向上に大きく寄与する。現在、デジタル式放射線透過試験検査方法や、超音波自動探傷試験方法などの検査技術が進歩している。

以下に「デジタル式放射線透過試験検査方法」と「超音波自動探傷試験方法」を紹介する。

4.1 デジタル式放射線透過試験検査方法

X線フィルムをデジタル画像として処理できる撮影技術として、デジタル式放射線透過試験検査方法が規格化（JIS G 0804-2015溶接鋼管溶接部のデジタル式放射線透過検査方法、JIS Z 3110-2017溶接継手の放射線透過試験方法—デジタル検出器によるX線及び γ 線撮影技術）され、近年注目されている。従来の現像作業がなく、判定のための暗室等の付帯設備が不要で、取得した透過画像が電子データであるため、ファイル伝送による共有化が可能なが主な利点である。

今後の国内の高圧ガスパイプラインの分野においてフィルム式（FRT）からデジタル式（DRT）への移行が急速に進むことが予想される。

4.2 超音波自動探傷試験方法

高圧ガスパイプラインの現地円周溶接部の非破壊検査は放射線透過試験による全数・全周検査が主流である

表1 デジタル式放射線透過試験検査の主な特徴

項目	内容
①作業効率向上	検査時間（撮影～判定）の短縮，暗室が不要
②画像管理省力化	取得画像を伝送可能，フィルム保管スペース削減，検索性の著しい向上
③環境負荷低減	現像液等の不使用，被爆線量の低減

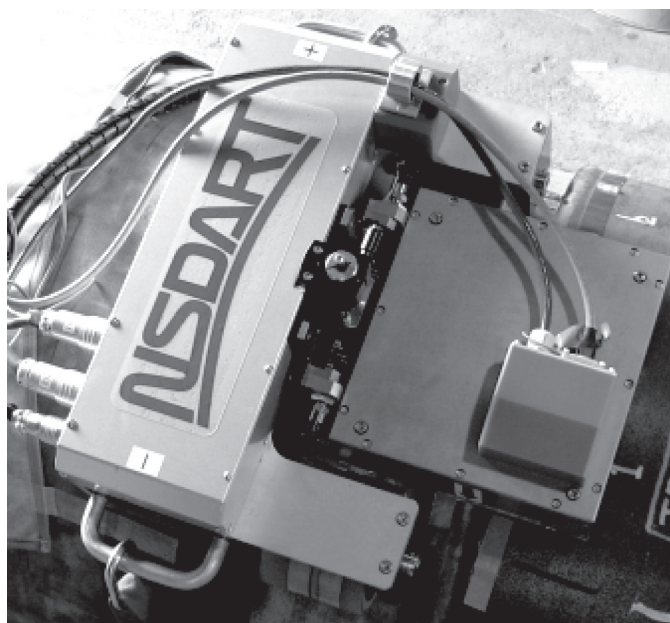


写真3 デジタル式放射線透過試験検査装置

が、これに代わるものとしてガス事業法が認可している“JGA指针对応・超音波自動探傷試験”があり、今般この規格に適合する装置の開発も進み、当該部検査能力の拡大，充実が図られている。

超音波自動探傷試験装置は探傷作業のみならずデータ解析作業など，多くの作業の自動化が図られ，現地円周溶接部の高品質を確保し，かつ建設工事の生産性向上を実現できる。

装置の主な特徴（例）は表2のとおりである。

5 土木配管設計

5.1 ルート選定

高圧ガスパイプラインは敷設後の維持管理性を考慮し，原則公道下へ埋設される。敷設工法は工期が短く経済的である開削工法がもっとも多く使用されている。ルートはなるべく開削工法を適用できる公道を選定する。現地踏査を行い，交通量や埋設スペースの有無を確認する。最終的な埋設位置は既設埋設物調査により決定する。

5.2 敷設工法の選定

パイプラインルート上で河川，軌条，巨大な構造物等，開削工法で敷設不可能な箇所が存在した場合は，非開削工法（推進工法，シールド工法等）を検討する。河川横過部では道路橋に添架する方法や，パイプライン専用橋を築造する方法もあるが，近年の高圧ガスパイプラインでは適用例がほとんどない。

推進工法とシールド工法の大きな違いは施工可能延長であり，数百m以下の横断であればほぼ推進工法を適用している。近年ではシールド工事の低コスト化が進み，開削工法では交通に多大な影響を与える環境で，道路をシールド工法で縦断占用するケースが増加している。

推進工法の場合は本管を立坑内で溶接し，順次推進管内に引き込んでいくサイクルを繰り返す。シールド工法の場合は，シールドトンネル内で本管の円周溶接などを行うため，作業に必要な最小シールド口径があり，本管口径600mmではシールド口径 ϕ 2,000mm以上であることが多い。

表2 超音波自動探傷試験の主な特徴

項 目	内 容
探傷作業の自動化	全周・溶接部両側からの探傷を自動化し検査員の作業負荷が軽減
合否判定	データ解析作業を自動化し等級分類、成績書作成が可能
装置校正作業	屈折角の測定、ゼロ点調整、探傷感度の設定を自動化し読取り、設定誤差が解消
装置の小型軽量化	機能と装置の統合により、狭い場所での検査作業が可能

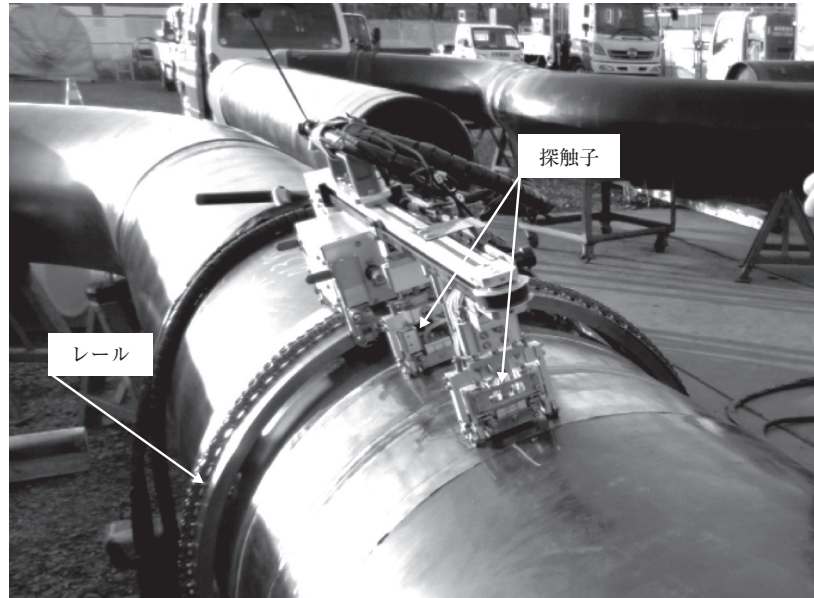


図1 超音波自動探傷試験装置

5.3 パイプライン設計における調査

5.3.1 既設埋設物調査

市街地では道路下の既設埋設物（上・下水道，電気，水路等）が輻輳していることが多い。高圧ガスパイプラインと既設埋設物には適切な離隔が必要であり，設計段階での埋設物調査は大変重要である。

既設埋設物の調査は，埋設物毎に管理者に確認する。現地で人孔や弁蓋，直接確認できるものは測定を行う。最近では非開削で埋設物を探査する技術も進歩しており，電磁波による地中レーダー探査が使われている。しかし，資料や探査による調査では，多くの埋設物の位置を正確には把握できないので，施工段階において掘削調査による位置確認を行う必要がある。

5.3.2 土質調査

非開削工事では，パイプライン敷設のための土木工事が大規模となる。土木設計のために地質ボーリング等土

質調査を行う。土質調査結果より，敷設位置および具体的な使用工法の選定や補助工事の要否などを検討する。

また，必要に応じパイプラインの沈下挙動の検討や耐震設計のための土質調査を行う。

6 おわりに

高圧ガスパイプラインはわれわれの生活と産業の維持・発展に不可欠なライフラインである。今後も関連技術開発とその現場適用を進め，パイプライン業界の発展と社会の安全・安心に貢献し続けたいと考える。

参考文献

- 1) 新日鉄住金エンジニアリング(株) (2016)『パイプライン現地円周溶接継手用デジタルX線検査システムNSDART®の開発』pp.44-53 新日鉄住金エンジニアリング技報 Vol.7
- 2) 日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株)『JGA 基準対応自動超音波探傷装置の開発』都市ガスシンポジウム2014